

**Micromechanical drive to transport or position bodies; has actuators controlled in groups, each with leaf-spring type structure arranged in magnetic field and having electrical contacts on both sides**

**Publication number:** DE10044887

**Publication date:** 2001-05-17

**Inventor:** BUSCHNAKOWSKI STEPHAN (DE)

**Applicant:** BUSCHNAKOWSKI STEPHAN (DE)

**Classification:**

**- international:** *H02K57/00; H02K16/00; H02K33/18; H02K57/00; H02K16/00; H02K33/18; (IPC1-7): B81B5/00; G12B5/00; H01F7/06*

**- european:** H02K57/00C

**Application number:** DE20001044887 20000912

**Priority number(s):** DE20001044887 20000912; DE19991044859 19990918

[Report a data error here](#)

**Abstract of DE10044887**

The drive has several actuators, which are electrically controlled in groups. A leaf-spring type structure (6) is arranged in a magnetic field (5) parallel to the movement plane. The structure has connection points (7) on both sides for an electrical voltage supply. A support (4) is support on the leaf-spring type structure. Alternatively, the magnetic field may be perpendicular to the movement plane or inclined to it.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 44 887 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**B 81 B 5/00**  
H 01 F 7/06  
G 12 B 5/00

⑲ Aktenzeichen: 100 44 887.9  
⑳ Anmeldetag: 12. 9. 2000  
㉓ Offenlegungstag: 17. 5. 2001

DE 100 44 887 A 1

⑥6 Innere Priorität:  
199 44 859. 0 18. 09. 1999

⑦1 Anmelder:  
Buschnakowski, Stephan, Dipl.-Ing., 09127  
Chemnitz, DE

⑦2 Erfinder:  
gleich Anmelder

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Mikromechanischer Antrieb

⑤7 Die durch verschiedene Technologien in Silizium gefertigten, frei beweglichen Strukturen können zum Transport von kleinen Körpern verwendet werden. Dabei werden hohe Ansteuerspannungen zur Auslenkung der Antriebe verwendet, die nicht CMOS-kompatibel sind. Darüber hinaus können "Schnappeffekte" auftreten. Der neue Antrieb vermeidet hohe Ansteuerspannungen sowie den "Schnappeffekt" und kann mit CMOS-kompatiblen Ansteuersignalen betrieben werden.

Um eine CMOS-kompatible Ansteuerung zu gewährleisten wurde zur Auslenkung der Antriebe eine elektrodynamische Ansteuerung realisiert. Dazu befinden sich die freigelegten Siliziumstrukturen (Antriebe) in einem zur Auslenkung erforderlichen Magnetfeld. Durch einen steuerbaren Strom, der über die Antriebe fließt, werden diese ausgelenkt und ein Transportkörper bewegt. Die Antriebe besitzen eine spezielle, mit Hilfe von Schichtspannungen herausgebogene Trägerstruktur, die zur Auflage des Transportgegenstandes dient.

Die mikromechanischen Antriebe eignen sich zum Transport von kleinen Körpern mit den Abmessungen von einigen Mikrometern bis zu einigen Millimetern.

DE 100 44 887 A 1

Die Erfindung betrifft einen mikromechanischen Antrieb zum Transport bzw. zur Positionierung von Körpern in der Ebene mit mehreren Aktoren, die gruppenweise elektrisch angesteuert werden.

Es ist seit Jahren möglich, durch technologische Prozesse Strukturen in Silizium zu fertigen, die beweglich an Federelementen aufgehängt sind. Eine Herstellungstechnologie ist die SCREAM (Single Crystal Reactive Ion Etching and Metallization) Technologie. Die in dieser Technologie hergestellten beweglichen Strukturen werden als Sensoren (z. B. Beschleunigungssensor) oder Aktoren (z. B. mikromechanische Relais) verwendet. Es ist auch möglich, eine Vielzahl dieser beweglichen Strukturen zum Transport kleiner Körper zu verwenden. Dabei spielen die Antriebselemente eine entscheidende Rolle. Herkömmliche Verfahren zur Realisierung einer Bewegung nutzen meist die Kräfte des elektrostatischen Feldes. Um große Auslenkungen zu erreichen, werden dabei hohe Ansteuerspannungen verwendet, die nicht CMOS-kompatibel sind. Weiterhin kann es bei elektrostatischen Aktoren zu einem "Schnappeffekt" kommen.

Literatur: Böhringer, K.-F.; Donald, B.-R.; MacDonald, N.-C.; Single-crystal silicon actuator arrays for micro manipulation tasks.; In Proc. IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), San Diego, CA, Feb. 1996.

Aufgabe der Erfindung ist es, die hohen Ansteuerspannungen für mikromechanische Antriebe zu senken und eine CMOS-kompatible Ansteuerung einer mikromechanischen Transporteinrichtung zu gewährleisten. Darüber hinaus soll die Erfindung den bei der Ansteuerung von elektrostatischen Aktoren auftretenden "Schnappeffekt" definitiv vermeiden.

### Lösung

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale der Patentansprüche gelöst und in den Ausführungsbeispielen näher erläutert.

### Erreichte Vorteile

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass statt hohen Ansteuerspannungen (z. B. 60 V) kleinere Ansteuerspannungen (z. B. 5–15 V) ausreichen, um eine Auslenkung der Antriebe und damit einen Transport von Körpern zu realisieren. Im Vergleich zu anderen Realisierungsprinzipien lässt sich mit der Erfindung ein besseres Verhältnis von Ansteuerspannung zu erzielter Bewegung erreichen. Eine Ansteuerung der Antriebe unter Verwendung von Verstärkern kann entfallen. Damit ist die Integration einer Transporteinrichtung mit CMOS-kompatibler Elektronik auf einem Chip möglich.

Bei elektrostatischen Aktoren kann ein kleiner Elektrodenabstand zum "Schnappen" führen. Dieser negative Effekt tritt bei der Erfindung nicht auf.

### Erläuterung der Erfindung

Die Erfindung wird nachfolgend erläutert und an mehreren Ausführungsbeispielen dargestellt. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine Draufsicht auf einen erfindungsgemäß ausgebildeten Aktor,

Fig. 2 eine Draufsicht auf eine Gruppe von erfindungsgemäß ausgebildeten Aktoren,

Fig. 3 den Querschnitt durch eine Anordnung bei der der erfindungsgemäße Antrieb selbst Transportmittel ist,

Fig. 4 u. 5 Bilder auf einen ausgeführten Antrieb analog Fig. 2,

Fig. 6 Anordnung von Aktoren entlang einer Kurvenbahn.

### Aufbau des Antriebs

Die Antriebseinrichtung besteht im wesentlichen aus einer Auflagehalterung (1) für den Körper (12), die durch vier Winkelfedern beweglich aufgehängt ist. Die Auflagehalterung ist so gestaltet, dass an einem festen Teil zwei Trägerstrukturen (4) angebracht sind, die sich an ihren Enden um mehrere Mikrometer aus der Waferebene herausheben.

Der Körper (12) liegt an den Enden auf der Auflagehalterung auf. Die Halterung wurde so konstruiert, dass eine Berührung der Oberfläche des Transportgegenstandes mit der Oberfläche des Chips vermieden wird. Damit wird versucht die Adhäsionskräfte, die sich zwischen dem Körper (12) und den Antrieben ausbilden, so gering wie möglich zu halten. Ein "Kleben" des Körpers (12) an den Antriebseinheiten soll dadurch verhindert werden. Das Herausbiegen der Trägerstrukturen (4) wird durch eine gezielte Ausnutzung von Schichtspannungen, die während des Herstellungsprozesses entstehen, erreicht. Die Schichtspannungen entstehen zum Beispiel durch das Auftragen von Metallisierungsschichten auf die Struktur. Da die mechanischen Eigenschaften der Federelemente durch die Schichtspannungen nicht verändert werden dürfen, wurden zur Spannungskompensation Winkelfedern verwendet.

### Wirkungsweise des Antriebs

Die gesamte Struktur befindet sich in einem Magnetfeld (5), das zum Beispiel durch Anbringen eines Permanentmagneten (10) unterhalb des Wafers erzeugt wird. Fließt über die Federelemente ein Strom, so wirkt auf die Antriebseinrichtung eine Kraft (Lorentz-Kraft), welche zu einer Auslenkung dieser führt.

### Ausführungsbeispiel 1

#### Aufbau des Ausführungsbeispiels 1

Das Ausführungsbeispiel 1 der Erfindung ist in der Fig. 2 dargestellt und wird im Folgenden näher erläutert.

Mehrere Antriebe sind auf einem Chip in Reihen (13; 14; 15) angeordnet. Jede Reihe ist einzeln durch ein Signal ansteuerbar. Der zu transportierende Körper (12) befindet sich auf den Antrieben.

Unter dem Chip befindet sich ein Permanentmagnet, der das zur Auslenkung erforderliche Magnetfeld bereitstellt.

#### Wirkungsweise des Ausführungsbeispiels 1

Im Folgenden wird der Mechanismus beschrieben, mit dem eine Bewegung von Körpern mit dem Ausführungsbeispiel 1 realisiert werden kann. Darin spielen die Reibung in Ruhe (Haftreibung) und die Reibung in Bewegung (Gleitreibung) als physikalische Phänomene eine entscheidende Rolle. Bei der Bewegung fester, sich untereinander berührender Körper beruhen die Reibungskräfte auf der Oberflächenrauigkeit und intermolekularen Eigenschaften (Adhäsion) und sind physikalisch schwer zugänglich. Ist eine näherungsweise Beschreibung ausreichend, kann sie mit einfachen Mitteln qualitativ zugänglich gemacht werden.

Der Körper (12) liegt auf mehreren Antriebsreihen. Dadurch wirkt auf die herausgebogenen Trägerstrukturen eine Kraft, die durch die Gewichtskraft des Körpers hervorgeru-

fen wird. Der Körper (12) wird mit seiner Gewichtskraft auf die unter ihm liegenden Trägerstrukturen gedrückt. Je höher die Anzahl der Trägerstrukturen ist, auf denen der Körper (12) liegt, desto kleiner ist die auf jede einzelne Trägerstruktur wirkende Kraft.

Eine Bewegung des Körpers (12) erfolgt in mehreren Antriebsphasen der Antriebsreihen (13; 14; 15). In der ersten Phase erfolgt eine gemeinsame Ansteuerung aller Antriebsreihen in der Weise, dass alle Antriebsreihen eine komplett synchrone Bewegung ausführen. Dabei können die Antriebe maximal einen Weg von  $\pm 7 \mu\text{m}$  zurücklegen. Dazu sind für die drei Antriebsreihen Ansteuerfunktionen notwendig, die in ihrem zeitlichen Verlauf gleich sind. Der Körper (12), der sich auf den Antriebsreihen befindet, wird nun in der Weise aus seiner Ursprungslage bewegt, wie sich die einzelnen Antriebe aus ihrer Ursprungslage bewegen. Voraussetzung dafür ist jedoch noch, dass die Beschleunigung der Antriebe einen Betrag besitzt, der die Haftreibung zwischen Antrieb und Körper (12) nicht überwinden lässt. Diese Bedingung muss bei der richtigen Wahl der Ansteuerfunktion berücksichtigt werden.

In der zweiten Phase wird die erste Antriebsreihe zurückgezogen, während alle anderen Antriebsreihen ihre in der ersten Phase erreichte Position beibehalten. Die Antriebsreihe, welche zurückgezogen wird, muss mit einer Kraft zurückbewegt werden, in der es gelingt, die Haftreibung zwischen Körper (12) und Antrieb zu überwinden, um in eine Gleitreibung überzugehen. Diese Forderung stellt, wie in der ersten Phase, Bedingungen an das Ansteuersignal. Hat die erste Antriebsreihe ihre Ausgangsposition erreicht, können die zweite und dritte Antriebsreihe nach demselben Prinzip zurückbewegt werden. Da die Antriebe überwiegen, die den Körper (12) in seiner ausgelenkten Position halten, kann in den Anfangszustand der Antriebe zurückgekehrt werden, ohne dass eine Mitnahme des Körpers (12) erfolgt.

### Ausführungsbeispiel 2

#### Aufbau des Ausführungsbeispiels 2

Das Ausführungsbeispiel 2 der Erfindung ist in der Fig. 3 dargestellt und wird im Folgenden näher erläutert.

Mehrere Antriebe sind auf einem Chip in Reihen (13; 14; 15) angeordnet. Jede Reihe ist über Steuerleitungen (11) einzeln durch ein Signal ansteuerbar. Der Chip liegt mit den beweglichen Antrieben auf einer glatten Oberfläche (z. B.: polierter Wafer (9)) derart, dass eine Auslenkung der Antriebe zu einer Bewegung des gesamten Chips führt. Unter der glatten Oberfläche befindet sich ein Permanentmagnet (10), der das zur Auslenkung notwendige Magnetfeld bereitstellt. Körper (12), die transportiert werden, befinden sich auf dem Chip.

#### Wirkungsweise des Ausführungsbeispiels 2

Die Antriebe werden durch die Gewichtskraft des Chips und durch die Gewichtskraft des Körpers (12) auf die glatte Unterlage gedrückt. Eine Bewegung des Chips mit dem Körper (12) erfolgt in mehreren Antriebsphasen der Antriebsreihen. In der ersten Phase erfolgt eine gemeinsame Ansteuerung aller Antriebsreihen in der Weise, dass alle Antriebsreihen eine komplett synchrone Bewegung ausführen. Dazu sind für die drei Antriebsreihen Ansteuerfunktionen notwendig, die in ihrem zeitlichen Verlauf gleich sind. Der Chip mit dem Körper (12) wird aus seiner Ursprungslage bewegt.

In der zweiten Phase wird die erste Antriebsreihe in ihre Ursprungslage zurückbewegt, während alle anderen An-

triebsreihen ihre in der ersten Phase erreichte Position beibehalten. Die Antriebsreihe, welche zurückgezogen wird, muss mit einer Kraft zurückbewegt werden, in der es gelingt, die Haftreibung zwischen der Unterlage und dem Antrieb zu überwinden, um in eine Gleitreibung überzugehen. Diese Forderung stellt Bedingungen an das Ansteuersignal. Hat die erste Antriebsreihe ihre Ausgangsposition erreicht, können die zweite und dritte Antriebsreihe nach demselben Prinzip zurückbewegt werden. Da die Antriebe überwiegen, die den Chip mit dem Körper (12) in seiner ausgelenkten Position halten, kann in den Anfangszustand der Antriebe zurückgekehrt werden, ohne dass eine Mitnahme des Chips erfolgt.

#### Patentansprüche

1. Mikromechanischer Antrieb zum Transport bzw. zur Positionierung von Körpern (12) in der Ebene mit mehreren Aktoren, die gruppenweise elektrisch angesteuert werden, **dadurch gekennzeichnet** dass in einem Magnetfeld (5) parallel zur Bewegungsebene eine beidseitig eingespannte blattfederartige Struktur (6) angeordnet ist, die Einspannstellen (7) der Strukturen (6) Anschlüsse für eine elektrische Spannung sind und auf der blattfederartigen Struktur (6) ein Träger (4) abgestützt ist.
2. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetfeld (5) etwa senkrecht zur Bewegungsebene gerichtet ist.
3. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetfeld (5) schräg zur Bewegungsebene gerichtet ist.
4. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (4) wenigstens aus einem Arm besteht, der mit einer Seite auf der blattfederartigen Struktur (6) abgestützt ist und dessen freies Ende aus der Bewegungsebene heraus zum Körper hin gebogen ist.
5. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Arm aus wenigstens zwei Schichten mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten besteht.
6. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Arm aus dem Grundmaterial des Aktors gefertigt und mit Metall beschichtet ist.
7. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für einen Transportschritt eine elektrische Spannung an den Einspannstellen (7) der blattfederartigen Strukturen (6) angelegt und mit einer so kleinen Geschwindigkeit erhöht wird, dass der Reibschluß zwischen den Auflagepunkten des Trägers und dem aufliegenden Körper (12) nicht unterbrochen wird.
8. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Rückführung der ausgelenkten blattfederartigen Strukturen (6) in die Nullstellung die Spannung an den Einspannstellen (7) einzeln oder gruppenweise abgeschaltet wird.
9. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass zur Rückführung der ausgelenkten blattfederartigen Strukturen (6) in die Nullstellung an die Einspannstellen (7) einzeln oder gruppenweise eine Spannung umgekehrter Polarität angelegt wird.
10. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktoren gruppenweise etwa senkrecht zu einer Bewegungsrichtung angeord-

net sind.

11. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktoren gruppenweise etwa senkrecht zu einer Kurvenbahn angeordnet sind.

12. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Antrieb Gruppen von Aktoren für verschiedene Bewegungsrichtungen vorgesehen sind.

13. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass Gruppen gleicher Bewegungsrichtung auf einem Tisch angeordnet und die Tische in der Höhe gegeneinander verstellbar sind.

14. Mikromechanischer Antrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Antrieb selbst Transportmittel ist, wobei sich die Träger auf eine Ebene abstützen und auf der Rückseite des Antriebs der Körper (12) aufliegt.

---

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

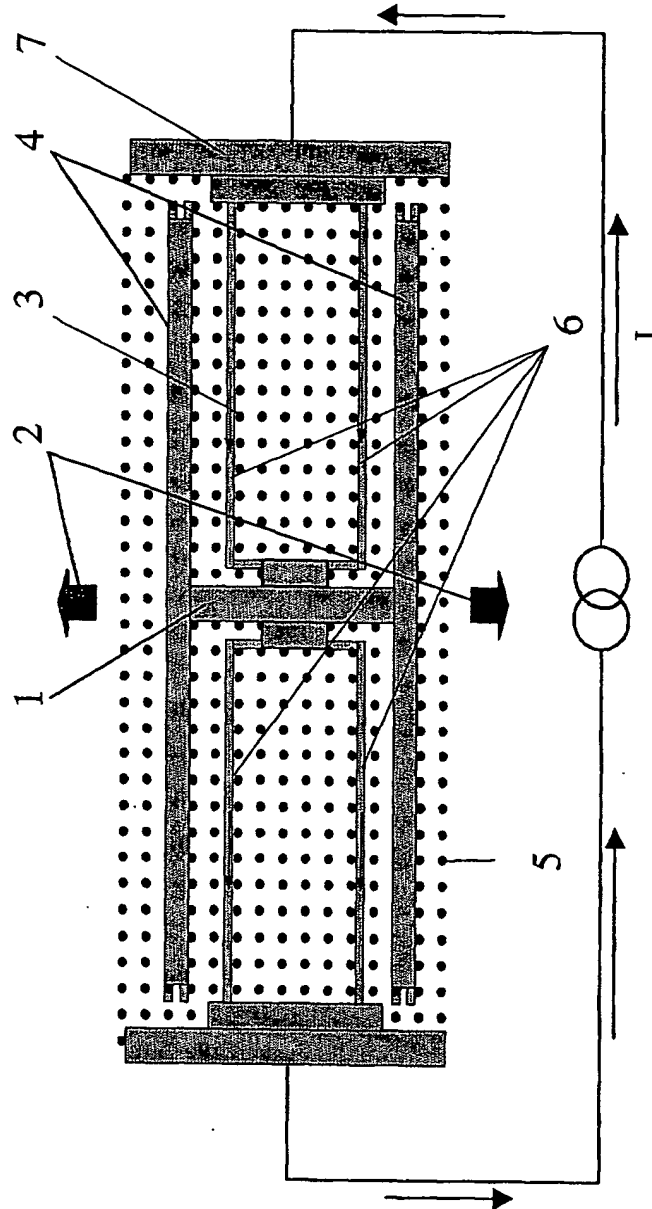
50

55

60

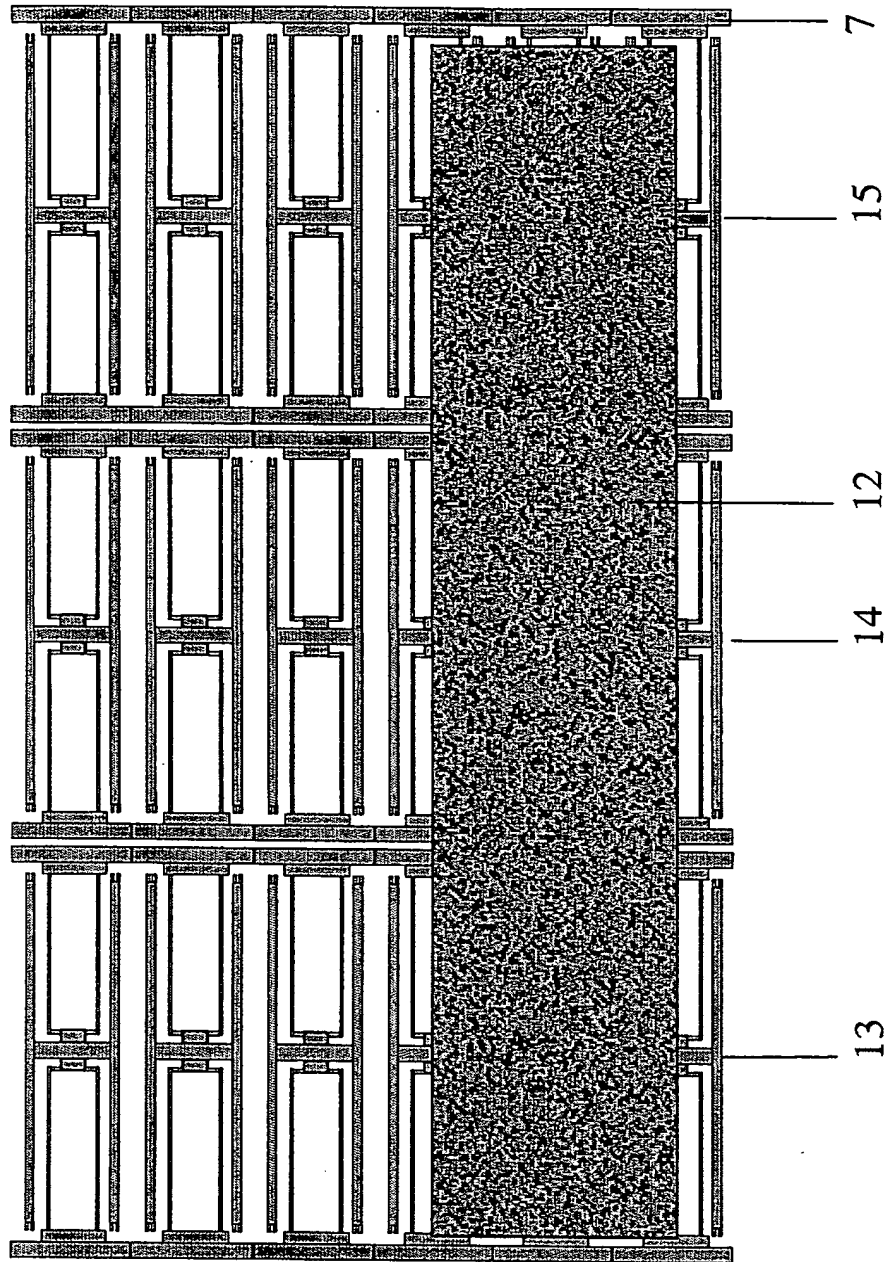
65

Figur 1

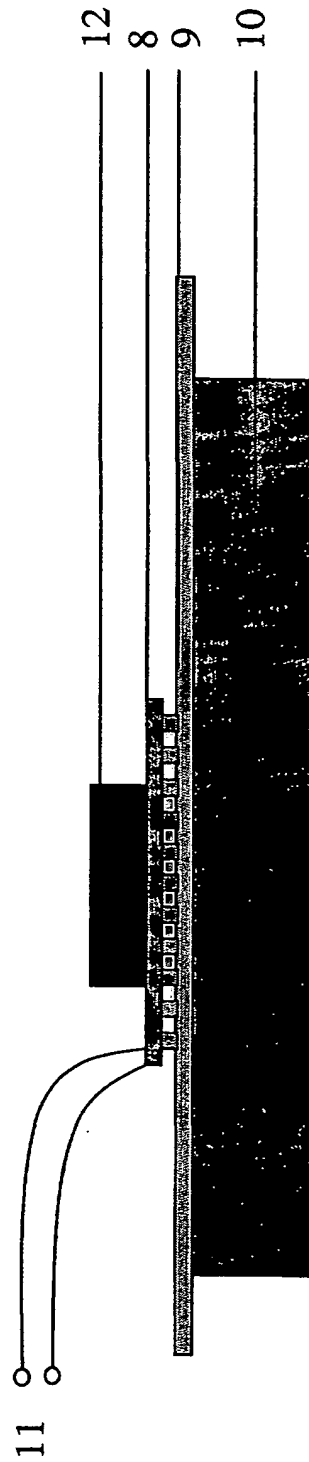


Sicht von oben

Figur 2

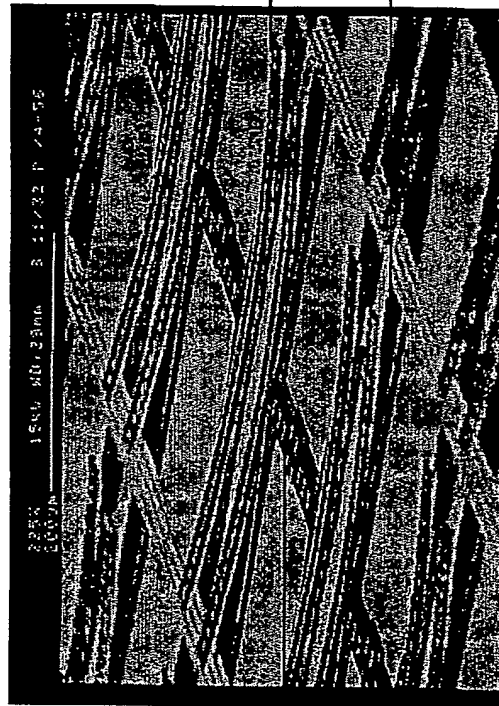


Figur 3





Figur 4



4

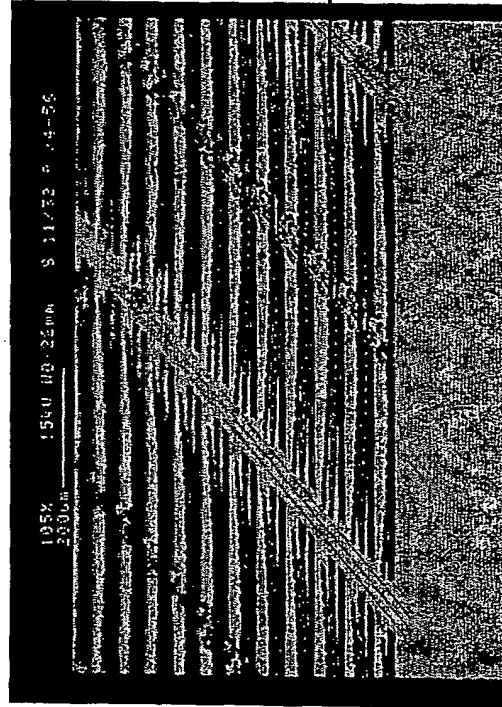
6

1

BEST AVAILABLE COPY

4

Figur 5



BEST AVAILABLE COPY

Figur 6

